

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»  
 Отделение нефтегазового дела

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы			
«Анализ применения криогелей для укрепления грунтов в условиях Крайнего Севера»			
УДК: 621.644.07:624.138:544.774(211-17)			
Студент			
Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Б	Максимов А.И.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД ИШПР	Бурков П.В.	д.т.н., профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН ШБИП	Макашева Ю.С.	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.	-		

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Коротченко Т.В.	к.ф.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Бурков П.В.	д.т.н, профессор		

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями</b>		
<b>Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»</b>		
P1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики)	ОК-1; ОК-2; ОК-3, ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-23
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в сложных и неопределённых условиях; использовать принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности	ОК-1; ОК-2; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23
<b>в области производственно-технологической деятельности</b>		
P3	Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с учетом передового отечественного и зарубежного опыта; использовать инновационный подход при разработке новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства.	ОК-1; ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23
P4	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды.	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22
<b>в области экспериментально-исследовательской деятельности</b>		
P5	Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования технологических процессов и объектов	ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-17; ПК-20

<i>Код результ ата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
<i>в области проектной деятельности</i>		
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при <i>разработке и реализации проектов</i> , проводить <i>экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность</i>	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
<i>в области организационно-управленческой деятельности</i>		
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23; (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е)
<b>Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»</b>		
P9	Организация технологического сопровождения планирования и оптимизации потоков углеводородного сырья и режимов работы технологических объектов	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-6, ОПК-7, ПК-4, ПК-7, ПК-13), требования профессионального стандарта 19.008 Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли
P10	Организация ТОиР, ДО нефте- и газотранспортного оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-5, ОПК-6, ПК-9, ПК-11), требования профессионального стандарта 19.013 "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования"
P11	Повышение надежности, долговечности, эффективности газотранспортного оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-4, ОПК-5, ПК-9, ПК-14), требования профессионального стандарта 19.013 "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования"

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»  
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП ОНД ИШПР  
 \_\_\_\_\_ Бурков П.В.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ</b>
---------------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ6Б	Максимову Андрияну Иннокентьевичу

Тема работы:

«Анализ применения криогеля для закрепления грунта в условиях Крайнего Севера»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования является различные способы закрепления грунта.  Рассмотрен способ закрепления грунтового основания под трубопроводом с помощью криотропного полимерного раствора на основе поливинилового спирта (криогеля)
---------------------------------	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений науки и техники в рассматриваемой области; 2. Проведение экспериментального исследования применения криогеля для закрепления грунта по разработанной схеме 3. Финансовый менеджмент; 4. Социальная ответственность; 5. Перевод одной из основных частей литературного обзора на английский язык; 6. Выводы по работе.
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Макашева Ю.С. Ассистент ОСГН ШБИП
«Социальная ответственность»	Немцова О.А. Ассистент ООД ШБИП
Разделы, выполненные на иностранном языке	Коротченко Т.В. Доцент ОИЯ ШБИП
Названия раздела, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	Review of the basic methods for growing ground growing strengths

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.09.2016
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Бурков Петр Владимирович	д.т.н., профессор		05.09.2017

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Б	Максимов Андриян Иннокентьевич		05.09.2017

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ6Б	Максимову Андрияну Иннокентьевичу

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость выполняемых работ, по применяемой техники и технологии
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тарифные ставки заработной платы рабочих, стоимость эксплуатации машин и механизмов, норма накладных расходов, норма прибыли сметной, и др.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Сравнительный анализ сметной стоимости выполнения работ: по закреплению грунта с помощью криогеля и замене грунтового основания песчано-гравийной смесью
2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Технико-экономическое обоснование целесообразности применения криогеля для закрепления грунтового основания

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.03.2018
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН ШБИП	Макашева Ю.С.			16.03.2018г

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Б	Максимов Андриян Иннокентьевич		16.03.2018г

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
2БМ6Б		Максимову Андрияну Иннокентьевичу	
<b>Инженерная школа</b>	<b>Природных ресурсов</b>	<b>Отделение</b>	<b>Нефтегазового дела</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>			
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения		Рабочим местом является укрепление грунта при строительстве трубопроводов в условиях Крайнего Севера. Работа осуществляется методом нанесения криогеля на основание траншеи, и последующим перемешиванием мотокультиватором. Время работ по укреплению грунта – осенний и осенне-зимний период	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>			
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:		Работа по закреплению грунта непосредственно связана рядом вредных факторов, что может снизить производительность труда. К таким факторам можно отнести: 1. Отклонение показателей климата на открытом воздухе; 2. Тяжесть и напряженность физического труда; 3. Превышение уровней шума; 4. Превышение уровней вибрации	
1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:		На объекте закрепление грунтового основания траншей трубопроводов методом нанесения криогеля, могут возникать опасные ситуации для рабочего персонала, к ним относятся: 1. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования (в т.ч. грузоподъемные) 2. Электрический ток; 3. Пожароопасность	
2. Экологическая безопасность:		При закреплении грунта будет оказываться негативное воздействие, в основном, на состояние земельных ресурсов и атмосферного воздуха. 1. Охрана земельных ресурсов и растительного мира; 2. Охрана атмосферного воздуха.	
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:		В районе деятельности работ по закреплению грунта криогелем, возможно возникновение следующих видов чрезвычайных ситуаций различного характера. <i>Одним из основных таких является – пожар*.</i> <i>*Примечание: Рассмотрен в параграфе 5.1.2.</i>	
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:		Специальные правовые нормы трудового законодательства.	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику			16.03.2018

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А			16.03.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ6Б	Максимов Андриян Иннокентьевич		16.03.2018

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)  
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
 Профиль «Надежность газонефтепроводов и хранилищ»  
 Уровень образования магистр  
 Отделение нефтегазового дела  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.10.2017	<i>Литературный обзор, объекты и методы исследования</i>	30
27.12.2017	<i>Исследования свойств и технологии применения криогеля</i>	20
16.02.2018	<i>Расчетная часть. Проведение лабораторных испытаний супеси с целью выявления прочностных характеристик, проверка на прочность и устойчивость подземного трубопровода, анализ напряженно-деформированного состояния трубопровода с закреплением грунта с помощью криогеля.</i>	10
03.05.2018	<i>Финансовый менеджмент</i>	10
07.05.2018	<i>Социальная ответственность</i>	10
10.05.2018	<i>Заключение</i>	10
11.05.2018	<i>Презентация</i>	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Бурков П.В.	д.т.н., профессор		01.03.2017

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Бурков П.В.	д.т.н, профессор		01.03.2017



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 87 страниц, 15 рис., 7 табл., 24 источников,

Ключевые слова: криогель; грунт; закрепление; вечная мерзлота;напряженно-деформированное состояние

Объектом исследования является (ются)Способы закрепления грунта в Северных условиях.

Цель работы – Является анализ применения криогеля для закрепления грунта.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Рассмотреть прочностные свойства криогелей.
2. Проанализировать технологию применения криогеля для укрепления грунта.
3. Построить предварительную модель НДС (программном комплексе Ansys) трубопровода при просадке грунта следствии избыточной обводненности и сделать вывод о целесообразности применения криогеля для закрепления грунта.
4. Оценить экономическую эффективность/значимость работы.

Пояснительная записка магистерской диссертации выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016.

## Определения

**Грунт** –многокомпонентная система, рассматриваемая как верхняя часть геологической среды и изучаемая в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека.

**Криотропные полимерные материалы (криогели)** – это продукт низкотемпературного воздействия замораживания и оттаивания, высокомолекулярных соединений полимеров и мономеров коллоидной дисперсии с последующей сублимационной осушкой, которые сначала образуют гель при перемешивании температуре 0-20°C, а в результате воздействия циклов замораживания и оттаивания образуют структурно прочный и упругий криогель.

**Мерзлые грунты** – в технической литературе часто именуют «криогенными» (криос, гр. – холод, лед). Для грунтов этого класса характерны структуры с криогенными связями, т. е. структуры, скрепленные ледяным цементом. Мерзлое состояние грунтов, т. е. в условиях отрицательных температур, бывает временным и постоянным (вечным).

**Укрепление грунтов** – это совокупность строительных операций по увеличению прочностных характеристик грунтов, путем искусственного добавления вяжущих и других веществ, обеспечивающих существенное изменение свойств грунтов.

**Вечная мерзлота** – это слой земли при действии отрицательных температур находится в мерзлом состоянии уже продолжительное время, мощность которых может достигать нескольких сотен метров.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	6
2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	11
2.1. Распространение вечномёрзлых грунтов на территории России .....	11
2.2. Общие положения и особенности вечномёрзлых грунтов.....	12
2.3. Процессы, происходящие в слое сезонного промерзания и оттаивания .....	15
2.4. Процессы, происходящие в многолетнемёрзлом грунте .....	19
2.5. Основные способы сооружения трубопроводов.....	20
3. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ .....	23
3.1. Краткая характеристика района строительства нефтепровода .....	23
3.2. Лабораторные испытания.....	24
3.3. Проверка прочности и устойчивости подземного нефтепровода .....	26
3.4. Схема закрепления грунтового основания трубопровода криогелем....	31
3.5. Анализ напряженно деформированного состояния трубопровода в программном комплексе ANSYS .....	32
4. «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	38
4.1. СМЕТНАЯ СТОИМОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ .....	38
4.1.1. Расчёт стоимости работы, методом замены грунтового основания ПГС	38
4.1.2. Расчёт стоимости работ, методом закрепления грунтового основания криогелем .....	40

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРИ УКРЕПЛЕНИИ ГРУНТА ОТКОСОВ И ДНИЩ ТРАНШЕЙ ТРУБОПРОВОДА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА .....	43
5. 1 Профессиональная и социальная безопасность .....	43
5.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению .....	45
5.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению .....	49
5.2 Экологическая безопасность.....	51
5. 3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	52
5.4. Законодательное регулирование проектных решений.....	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	57

## ВВЕДЕНИЕ

Северная строительно-климатическая зона включает районы Крайнего Севера, Западной и Восточной Сибири, Дальнего Востока. Отличительной особенностью региона является: широкий предел колебания температур, влажность воздуха, ветровое воздействие и осложненный ландшафт.

Вечномерзлые грунты имеют отрицательную или нулевую температуру, содержат в своем составе лед и находятся в мерзлом состоянии в течение многих лет. Инженерно-хозяйственная деятельность человека приводит к ослаблению вечной мерзлоты, что приводит к необратимым явлениям осложняющих эксплуатацию и надежность объектов строительства.

**Актуальность:** Проблема эксплуатации нефте- и газотранспортных объектов на нестабильно мерзлых грунтовых основаниях является нарушение их устойчивого положения вследствие оттаивания, обводнения и разупрочнения мерзлых грунтов.

Существуют различные способы защиты газотранспортных объектов от потери устойчивости вследствие разрушения грунтов оснований талыми и подземными водами, такие как, цементирование, силикатизация, холодная битумизация, замораживание, цементация и глинизация, которые реализуются в виде инъекций в земельное полотно или поверхностного нанесения. В условиях сезонного оттаивания-промерзания грунта эти способы малоэффективны, поскольку традиционные материалы в ходе замерзания – оттаивания разрушаются.

Поэтому при проектировании и строительстве нефте- и газотранспортных объектов указанные способы практически не применяются. Таким образом, актуальной научно-технической задачей является необходимость анализа применения криогеля, которые обладают высокой упругостью и хорошей адгезией к грунту для применения в районах вечной мерзлоты. Применение криогеля позволит обеспечить эффективную и безопасную эксплуатацию и снизить стоимость содержания нефте – и

газотранспортных объектов, сооружений и дорог в условиях сезонно-мерзлых и вечномерзлых грунтов.

**Объект исследования** – способы укрепления грунта в Северных условиях.

**Предмет исследования** – криотропные полимерные материалы (криогели).

**Целью работы** является анализ применения криогеля для укрепления грунта в северных регионах, в условиях вечной мерзлоты.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить механику мерзлых грунтов и принципы строительства трубопроводов в условиях Крайнего Севера.
2. Рассмотреть физико-химические, и теплофизические свойства криогелей.
3. Проанализировать технологию применения криогеля для укрепления грунта в северных регионах.

**Научная новизна исследования** основывается на том, что наноструктурированные криотропные полимерные материалы обладают улучшенными теплофизическими и механическими свойствами, они могут найти применение для строительства в районах распространения вечной мерзлоты. Для строительства трубопроводов в таких районах возникает проблема по поддержанию повышению несущей способности грунта, .

Применение криогеля для укрепления грунта в строительстве трубопроводов, имеет ряд конкурентных преимуществ перед остальными методами:

- Предлагаемые криогели обладают высокими гидроизоляционными, противofiltrационными и противомиграционными свойствами в пористой среде;
- Сезонные колебания температур, часто наблюдаемые во многих областях России, способствуют увеличению их прочности, упругости и усиливают их сцепления с породой;

- Их применение возможно на территории с вечной мерзлотой;
- Они безвредны для людей и экологически безопасны для окружающей среды.

Исходя, из вышеуказанных преимуществ данный метод может существенно снизить риски при эксплуатации трубопроводов, связанные со сложными природными условиями.

**Практическая значимость работы.** На основании проведенного анализа разработать рекомендации по применению криогеля для укрепления грунта в Северных условиях.

## 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Существуют различные способы защиты нефте- газотранспортных объектов от потери устойчивости вследствие разрушения грунтов оснований талыми и подземными водами, такие как, цементирование, силикатизация, холодная битумизация, замораживание, цементация и глинизация, которые реализуются в виде инъекций в земельное полотно или поверхностного нанесения. В условиях сезонного оттаивания-промерзания грунта эти способы малоэффективны, поскольку традиционные материалы в ходе замерзания – оттаивания разрушаются. Поэтому при проектировании и строительстве нефте- газотранспортных объектов указанные способы практически не применяются

Теоретической и методологической базой исследования послужили труды отечественных и зарубежных экономистов, документы нормативно-методического характера, материалы периодической печати и информация из интернет-источников.

В основу исследования положены научные публикации и разработки томских ученых из Института химии нефти СО РАН и практические примеры успешного применения криогелей в Северных условиях.

Криотропные полимерные материалы (криогели) – это продукт образованный из растворов полимеров поливинилового спирта (далее ПВС) от 5 до 10 масс. % с водой 90 - 95 масс. % (дополнительно могут добавляться различные присадки), при температуре 0-20°C представлены виде *гелей* (см. рис.1, а), а после низкотемпературного воздействия (замораживании и оттаивании) образуются так называемые *криогели* (см. рис. 1, б), с высокой упругостью и адгезией к породе. Замечено что, чем больше циклов замораживания – оттаивания, а также при изменении концентраций 5-10 масс. % ПВС, его механические свойства: (прочность, адгезия с грунтом и упругость) увеличивается (см. рис.2). Обобщенная схема методов формирования полимерных гелей, описанная доктором химических наук, В.И. Лозинским, представлена на рис.3.



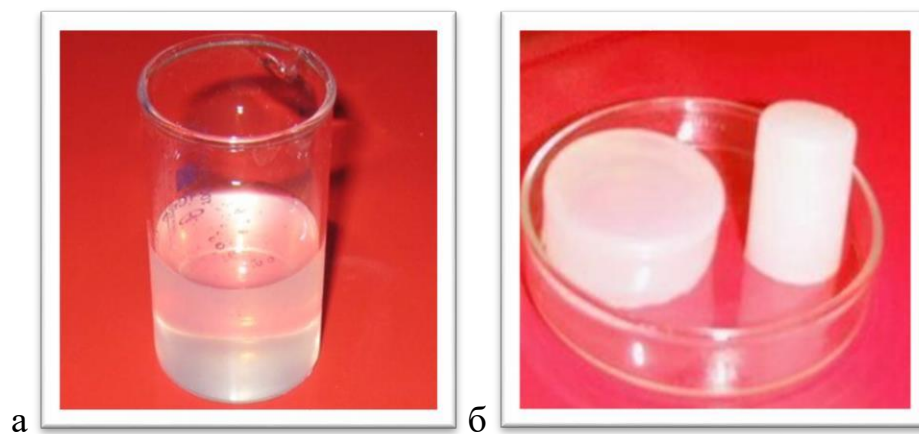


Рисунок 1

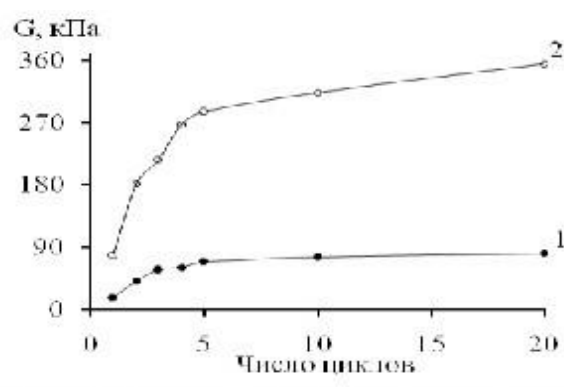


Рисунок 2 – Зависимость модуля упругости от количества циклов замораживания и оттаивания (1-5%ПВС; 2- 10%ПВС)



Рисунок 3 – Обобщенная схема методов формирования полимерных гелей

Структура криогеля характерно формируется при замораживании, когда образование достаточно крупных кристаллов растворителя, приводит к вытеснению твердых частиц в пространство между ними и концентрированию при замораживании, приводит к его образованию.

Удаление замороженного растворителя путем сублимации приводит к образованию каркасных структур с крупными (от единиц до сотен мкм) порами на месте удаленных кристаллов льда, что говорит о высокой гидрофобности. Структурные элементы каркасной структуры состоят из твердых частиц суспензии, как правило, наноразмерных с удельной поверхностью от 300-400 м<sup>2</sup>/г до 700-800 м<sup>2</sup>/г [1].

Данные криогели безвредны для людей и экологически безопасны для окружающей среды так же он обладает низкой теплопроводностью в отличие от остальных применяемых материалов при низких температурах, что делает его применение перспективным в северных районах [4].

Таким образом, можно сделать вывод о преимущественных особенностях криогеля:

- возможность готовить непосредственно на промышленном объекте и применять с использованием стандартной техники.

- безвредны для людей и экологически безопасны для окружающей среды - могут использоваться в зоне вечной мерзлоты
- чем больше циклов «замораживание-оттаивание» испытывает криогель, тем лучше становятся его механические свойства: увеличивается его прочность, упругость, усиливается сцепление с породой
- устойчивы к различным воздействиям окружающей среды: воде, микроорганизмам, ультрафиолету и высоким перепадам температур вибрациям различного происхождения.
- время и температуру гелеобразования можно регулировать
- обладают невысокой стоимостью за счет использования в составе криогеля, продуктов крупнотоннажного промышленного производства.

Так же криогель способствует не только закреплению грунта но прорастанию семян многолетних трав и образованию зеленого покрова, не дает промерзнуть в зимнее время корневой системы растений. Корни растений также способствуют закреплению почвы, а зеленая масса, отмирая в зимний период, повышает ее плодородие.

Исследованием особенностей применения криогеля в Северных условиях занимались Фуфаева М.С., Алтунина Л.К., Манжай В.Н., Овсянникова В.С., Филатов Д.А.

Способы укрепления слабых грунтов основания земляного полотна и состава для его осуществления исследовали Алтунина Л.К., Хоменко А.П., Сигачев Н.П., Благоразумов И.В., Коньшев С. С. и др.

Примером успешного применения криогелей явилось создание противодиффузионной завесы на плотине Иреляхского гидроузла АК «АЛРОСА» (г.Мирный, Якутия), расположенной в районе вечной мерзлоты.

В 2003-2005 гг. на плотине Иреляхского гидроузла АК «АЛРОСА» (г. Мирный) криогель использовали для формирования противодиффузионного экрана путем закачки 1500 м раствора криогеля в 63 скважины. Результат положительный, состояние плотины

стабилизировалось, ликвидирован водоприток в зонах закачки раствора криогеля.

В 2004 г. проведены опытно-промышленные работы с применением криогеля для ликвидации приустьевой воронки на скважине 338/2 Средне-Хулымского месторождения, г. Надым.

Совместно с Забайкальским институтом железнодорожного транспорта (Иркутск) в 2011г. изготовлена и опробована опытно-промышленная установка по инъецированию раствора криогеля в грунт производительностью 200-400 л/час, глубиной инъецирования до 5 м. Подобраны оптимальные составы растворов с эффективными наполнителями.

Проведены опытно-промышленные работы на участке длиной 60 м Восточно-Сибирской железной дороги. Разработан метод получения полимерной матрицы криогеля с высокой адгезией к песку, глине и т.д. Твердые и мелкодисперсные ингредиенты грунта связаны и наполнены в криоструктуры, которые слабо подвержены ветровой эрозии.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1. Распространение вечномерзлых грунтов на территории России

К районам распространения вечномерзлых грунтов относятся Якутия, Магаданская, Читинская и Иркутские области, Красноярского и Хабаровских краев, частично Тюменской и Свердловской области, а так же Республика Бурятия [80].

Чем больше среднегодовая отрицательная температура воздуха, и температура грунта, следовательно тем больше толща вечномерзлых грунтов. В отдельных районах вечномерзлые грунты встречаются до 350 м. Выделяют южную, умеренно холодную, субарктическую, арктическую зоны распространение грунтов (см. таблицу 1), также в южной зоне выделяют подзоны прерывистого, редкоостровного и островного распространения вечномерзлых грунтов [10].

Таблица 1.

Зоны распространения	Средняя толщина слоя, м	Температура (на глубине 10 м)	Глубина сезонного оттаивания, м
Арктическая	600	от 9 до 10°C	0,7
Субарктическая	350	от 3 до 5°C	1
Умеренно-холодная	250	от 1 до 3°C	1,5
Южная	10	от 0 до -1°C	3 и более

Зона со сплошным распространением вечномерзлых грунтов составляет порядка 63% от территории вечномерзлого грунта, в том числе арктическую зону 9%, субарктическую 27% , умеренно-холодную зону 27%, а также южную зону составляет которая составляет 37% территории вечномерзлого грунта. Грунты с температурой от -1 до -9°C встречаются крайне часто и занимают 60,3% от территории вечномерзлых грунтов [8].

Согласно СНиП 23-01-99 для строительства, территории разделены на четыре основных строительно-климатических зон: I-III зоны – это территория где распространена равнинная структура; IV зона – где горные условия преобладают.

К I зоне относят таежные территории, тундровые и арктические, характерной особенностью таких зон является преобладанием в ней грунтов, имеющих избыточное водонасыщение, т.е. в состоянии переувлажнения.

Зона II представлена грунтами, имеющие избыточное, в отдельные годы водонасыщение, или неустойчивое водонасыщение т.е. в зависимости от природно-климатических условий. Зона III, самая южная по расположению, имеет грунты с недостаточным водонасыщением.

На Азиатскую часть приходится 77% территории России. В этой части преобладает строительно-климатическая зона I, причем 79% ее территории занимают вечномерзлые грунты. В европейской части России вечномерзлые занимают 8,2 % территории, что обусловило первостепенное изучение процесса разработки талых и сезонно-мерзлых грунтов. Систематическое изучение вечномерзлых грунтов как материала, подлежащего разработке, начато в 70-е годы и связано с возрастанием объемов капитального строительства в Азиатской части России [8].

Определяющим фактором разработки и использования грунтов считают мерзлотно-грунтовые условия. Особенность вечномерзлых грунтов заключается в непрерывном изменении их температуры, и состава и свойств. Свойства вечномерзлых грунтов зависят от климатических условий. В общем ряду сопротивляемости материалов разрушению вечномерзлые грунты занимают промежуточное положение между такими материалами, как бетон и сыпучие пески, используемые при строительстве трубопроводов для баллаستировки и для укрепления грунта.

## 2.2. Общие положения и особенности вечномерзлых грунтов

Почти по всей нашей территории страны температура воздуха зимой опускается ниже 0°C. В результате действия отрицательных температур грунт с поверхности промерзает, превращаясь в мерзлый и вечномерзлый который в таком состоянии остается в течении многих лет.

Обычно слой грунта на поверхности ежегодно промерзает и оттаивает, такой слой обычно называют *деятельным* или поскольку в нем

происходят интенсивные процессы, слоем *сезонного промерзания и оттаивания*, а также проектируются объекты человеческой жизнедеятельности.

Различают деятельные слои такие как *перелетки* (рис. 4, а), образующиеся в виде слоя мерзлого грунта с небольшой толщиной, появляющиеся при изменении температуры ниже среднегодовой или изменении местных условий промерзания [9].

*Сливающийся* деятельный слой (рис. 4, б), когда грунт промерзает до верхней границы вечномерзлого грунтового слоя, и *несливающийся* (рис 4, в), когда грунт до указанной границы не промерзает [9].

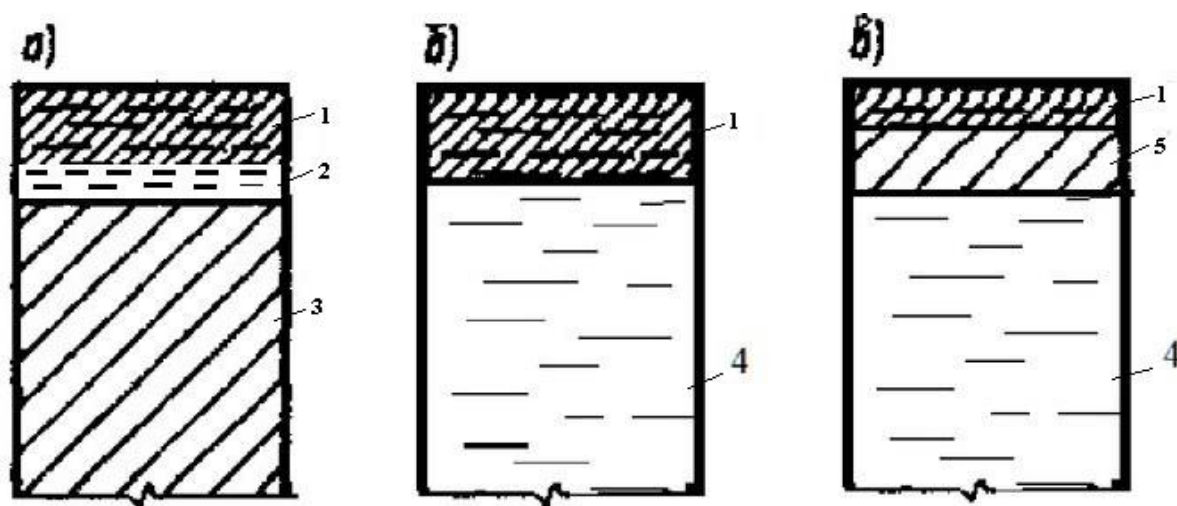


Рисунок 4. Схема расположения слоев грунта

1- деятельный слой; 2 – перелеток; 3 - талый грунт; 4 - вечномерзлый грунт;  
5 - слой талого грунта, не промерзающего зимой.

Формы залегания и характер распространения вечномерзлых грунтов, определяются местными условиями в значительной степени по промерзанию и среднегодовой температуре воздуха. В одном и том же районе в связи с этим в разработке земляных работ, этот слой может встречаться и не встречаться, что вызывает ряд специфических осложнений (которые рассмотрим, в следующем параграфе) значительно влияющие сроки эксплуатации объекта на принятия проектных решений. При рассмотрении районов, с юга в направлении на север увеличивается мощность слоя

вечномерзлого грунта, которая может достигать в северных районах до несколько сотен метров (см. таб. 1), а в южных районах распространения вечномерзлых бывают островными с толщиной 20...50 м.

Вечномерзлые и мерзлые грунты имеют слитную, слоистую и ячеисто - морозную (криогенную) текстуру (см. рис. 5).

Грунты со слитной морозной структурой (рис. 5,а) содержат в себе преимущественно лед – цемент без больших включений, но редко имеются не большие включения льда в гнездообразном виде. В такой структуре характерны грунты с крупнообломочных, гравелистых и всех видов песков, кроме пылеватых. При малой влажности пылевато-глинистые грунты могут обладать слитной текстурой.

Слоистой морозной структурой (рис. 5, б) могут обладать пылевато-глинистые грунты и пылеватые пески находящиеся в вечномерзлом состоянии. Такие структуры встречаются в частности в верхних слоях вечномерзлых грунтов до глубины 15...25 м и не реже на больших глубинах. Такая текстура образуется в ходе промерзания вод мигрирующих с нижних водоносных горизонтов, а также сильно увлажненных грунтов. Следовательно, такая слоистая текстура имеет низкие показатели надежности при строительстве.

Ячеисто - морозная текстура (рис. 5, в) встречается если промерзания пылевато-глинистых грунтов образуется при сильно увлажненном состоянии а также в свободном подтоке подтока воды, это характерна при сильном обводнении верхней образующей деятельного слоя.

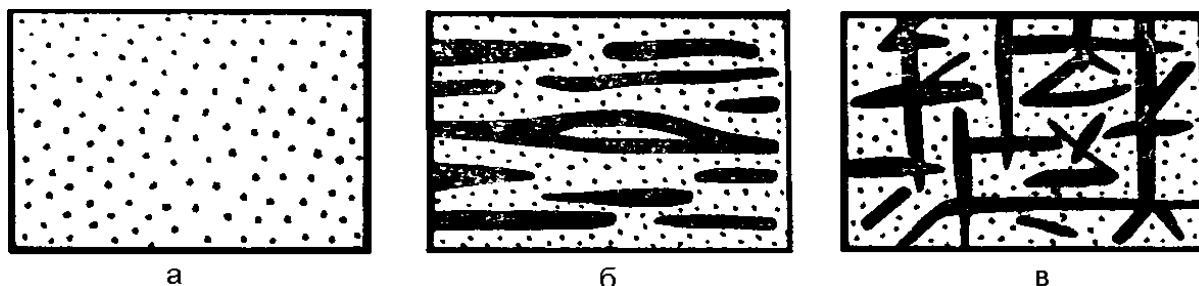


Рисунок 5. Морозные структуры грунта



Следует отметить, что льдинистое составляющая грунта оказывает значительное влияние на его строительные показатели, так как из-за линз и прослоек льда текстура мерзлого грунта неоднородна, и его механическая прочность уменьшается. Решения проблемы в сублимации избыточного содержании влаги в грунте.

### 2.3. Процессы, происходящие в слое сезонного промерзания и оттаивания

Значительные варьирования температур; промерзание и оттаивание грунтов; морозные пучения грунтов; формирования морозобойных трещин; миграция воды к границе промерзания; миграция воды под действием гидравлического давления; солифлюкция (сползание грунта по склонам); оползни в поверхности.

Разность температур по глубине слоя 1 и слоя вечномерзлого грунта 2 (рис. 6) легко фиксировать, измеряя температуру в скважине на разных глубинах в течение года. Верхние слои имеют самую наибольшую разность температур. С углублением уменьшается, а температура ниже границы 3 неизменна. *Эту границу называют границей нулевых амплитуд сезонных колебаний температур* [9].

Грунт преимущественно промерзает сверху, а график колебаний температур показывает его ход промерзания и оттаивания, залегающих выше границы оттаивания 4 грунтов. Оттаивание происходит только сверху, но при сливающимся деятельном слое от верхней границы вечномерзлого грунта, имеет место небольшое промерзание грунта снизу.

В ходе промерзания некоторых переувлажненных грунтов может, происходит процессы в виде морозного пучения, которое сопровождается увеличением объема воды, при переходе ее в лед и перемещении воды из нижних слоев к фронту промерзания, чаще всего толщина не превышает 3 % от его толщины, а в случае сливающимся деятельном слое не превышает 3 % от его толщины.

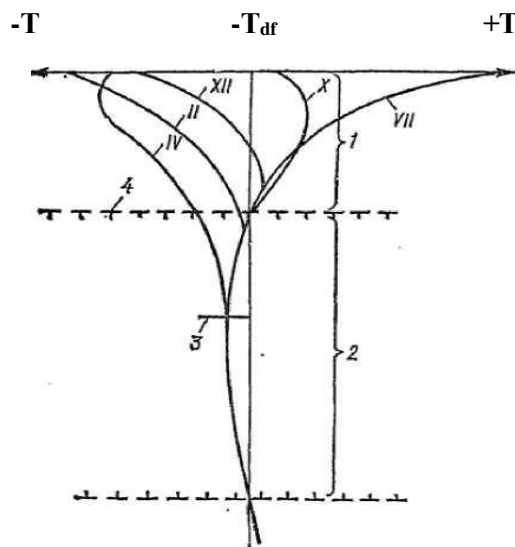


Рисунок 6. График температурного распределения в пределах толщины деятельного слоя сливающегося типа

В случае если есть движение грунтовой надмерзлотной воды или верхний деятельный слой грунта не промерзает до верхней образующей вечномерзлого слоя, то морозное пучение может иметь значительное влияние на конструкции, расположенные в пределах его интенсивного воздействия и достигать десятков процентов от толщины этого самого слоя. В ходе промерзания эти конструкции поднимаются вверх силами пучения, а весной же они не могут опуститься вниз вместе с проседающим грунтом, который оттаивает сверху, и удерживается не оттаявшей частью деятельного слоя, и слоем вечномерзлого грунта.

Следствием этого является выпучивание заглубленных в грунт конструкций, (столбов, фундаментов и др.). Надмерзлотным, межмерзлотным и подмерзлотным грунтовым водам свойственно перемещение влаги под действием гидравлического градиента [9].

Надмерзлотные грунтовые воды, перемещаются обычно только при наклонной местности, и приурочены к слоям песка, супеси и других хорошо фильтрующих грунтов, а при деятельном слое нессливающегося типа, могут находиться в слое талого грунта. Такие воды существенно влияют на миграцию влаги к фронту промерзания и оказывают содействие на формирование морозного пучения грунтов в деятельном слое.

Межмерзлотные и подземные воды находясь между двух слоев вечномерзлого грунта, обычно способствуют для формированию путей

выхода подмерзлотных вод на поверхность земли или в слой сезонных протаиваний и промерзаний.

При устройстве фундамента надмерзлотные воды оказывают влияние в случае если выхода через талики расположенные под слоем вечномерзлого грунта, которые и питают надмерзлотные воды.

Наличие подземных вод создают условия для образования поверхностных наледей, а при наклонной местности перемещаются вниз по склону (рис. 7). Например, если грунт, под дорогой промерзает раньше 1 до верхней образующей вечномерзлого грунта 4, чем на остальной территории, то в слое 2 будут скапливаться вода, а в 3 слое с повышением давления. Под действием этого давления промерзший слой может быть сломан и приподнят в слабом месте.

После этого вода начнет выходить через образовавшуюся трещину, формируя грунтовую наледь 5. В некоторых случаях не происходит разрыв промерзшего слоя, но он поднимается вверх образуя холма из слоев линза льда [9].

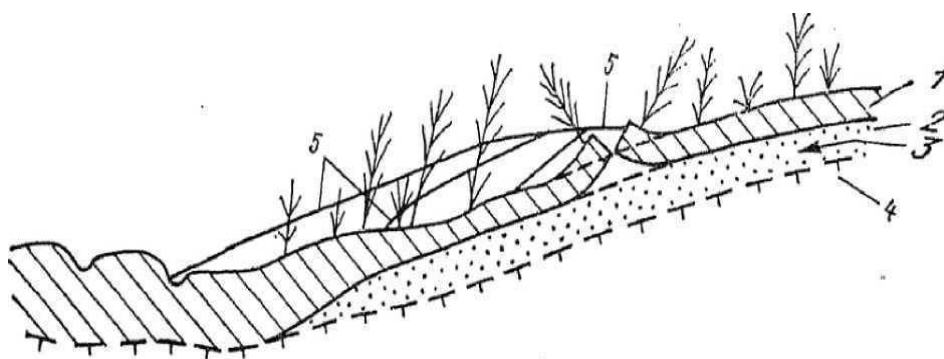


Рисунок 7. Схема грунтового образования наледи на наклонной местности  
1 – слой промерзшего грунта; 2 - непрмерзший водоносный слой грунта;  
3- грунтовые воды перемещающиеся по склону; 4-слой вечномерзлого  
грунта;  
5 – образование грунтовой наледи

В верхней части промерзшего слоя температура грунта сильно понижается, и к небольшому опусканию поверхности грунта сверху вниз что приводит к возникновению в нем напряжений растяжения по горизонтали.

Под воздействием напряжений формируются морозобойные трещины в грунте. Способствует в их образовании, изгиб промерзшего слоя, так как в верхней части он сжимается в результате действия отрицательных температур, ниже чем у границы промерзания.

В результате указанных причин образования в промерзшем слое трещины имеют небольшую ширину раскрытия, а по мере понижения температурного режима они получают развитие, что особенно неблагоприятно воздействуют на линейные сооружения (трубопроводы, подземные кабели и др.) — что в конечном счете приводит к их разрушению

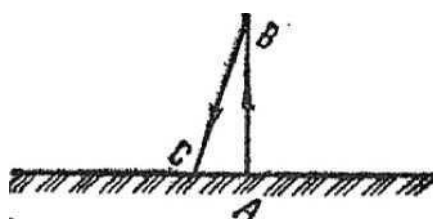


Рисунок 8. Перемещение частиц  
грунта, на поверхности  
откоса

Солифлюкция происходит в условиях пучинистых грунтов в ходе медленного сползания грунта по склону. Причиной процесса образования является поднятие грунта, расположенных в поверхности земли при промерзании (например, из точки *A* в точку *B* — рис. 8) и опускание в ходе оттаивания под действием сил гравитации по наклонной вертикали вниз (из точки *B* в точку *C*). В результате поднятия и опускания частиц грунта за один год частицы с точки *A* перемещаются в точку *C*. Абсолютно идентичная картина будет наблюдаться так же по всему склону поверхности грунта. Если частицы грунта расположены в некоторую глубину, то и тоже наблюдается перемещение, но с меньшей интенсивностью. Это ведет временному уменьшению перемещений грунта по склону по мере углубления. Линейные сооружения прокладываемые на склонах испытывают негативное воздействие солифлюкции [9].

Кроме солифлюкции, на откосах крутизной 1:1,5 и 1:2, весной наблюдается образование поверхностных оползней, это может вызываться рядом следующих причин [8]. При промерзании грунтов происходит перемещение влаги в его верхние слои в результате чего верхняя часть переувлажняется. Переувлажненные грунты в процессе оттаивания легкостью сползают по слою еще мерзлого грунта. Этому свидетельствуется наличием прослоев линз льда, по направлению совпадающие с направлением откоса. Исследования, выполненные Н. К. Захаровым, показали, что суглинки в процессе оттаивания теряют сопротивление сдвигу который может уменьшаться примерно на 50 %.

В районах распространения вечномерзлых грунтов в пределах деятельного слоя протекает одновременно несколько процессов, таким образом, их необходимо учитывать для принятия проектных решений при строительстве.

#### 2.4. Процессы, происходящие в многолетнемерзлом грунте

В пределах этого слоя протекают следующие процессы: образование морозобойных трещин и клиньев льда; колебания отрицательных температур в верхней части слоя до границы нулевых амплитуд сезонных колебаний; оттаивание слоя грунта при изменении температурного режима на поверхности земли; развитие термокарстовых просадок. [9].

В верхней части слоя вечномерзлого грунта согласно рис. 4 при сливающемся типе деятельного слоя ежегодно температура изменяется от соответствующей началу замерзания до отрицательного значения, существенно меньшего нулевых колебаний температуры, что и приводит к таким явлениям.

Опыт строительства показывает, что застройки территорий зачастую приводит к увеличению глубины оттаивания грунтов и, таким образом, к просадке поверхностного грунта. Еще большее оттаивание происходит под отапливаемыми зданиями, выделяющими тепло в грунт. В результате

возникает значительная просадка фундаментов, которая иногда сопровождается полным разрушением зданий [9].

Таким образом, строить на сильнольдунистых грунтах без принятия мер по сохранению их вечномерзлого состояния недопустимо.

## 2.5. Основные способы сооружения трубопроводов

Технология сооружения трубопроводов в многолетнемерзлых грунтах и на заболоченных территориях весьма специфична. Прежде всего, возможный строительный период в этих местах наступает не летнее время, а с промерзанием деятельного слоя, т.е. с конца осени, и продолжается в зимний период и до начала весны.

Работы на трассе трубопровода начинаются, когда деятельный слой промерзает, на глубине не менее 0,6 метров делается, это во избежание повреждения мохорастительного покрова.

Основным строительным недостатком вечномерзлых грунтов является изменчивость прочностных характеристик. При отрицательных температурах без заметных деформаций могут воспринимать большие нагрузки, а при отрицательных температурах и тем более положительных температурах, разжиживаются и теряют несущую способность и [7].

Расположенные в таком грунте трубопроводные конструкций могут испытывать не допустимые деформации, из за явлений вспучивания, растрескивания, которые проявляются при повторном замерзании грунта. На принятие защитных мер, требуется проведение специальных конструктивных или технологических способы решения проблемы.

В зимнее время вечномерзлые грунты представляют собой плотную структуру монолитного типа, что в итоге обеспечивает работу на нём строительных и монтажных машин, т.е. технология строительства такая же как при нормальных условиях. В летнее время года работы по строительству в вечномерзлых грунтах либо полностью прекращается, либо производятся с помощью специальной техники и технологий применяемых на болотах.

Существует две конструктивные решения прокладки трубопроводов в таких районах это подземная и надземная прокладка.

Подземная прокладка трубопровода предусматривает закрепление его в проектное положение с применением утяжелителей или анкерных устройств которые должны обеспечивать компенсацию не только силы выталкивания, но и усилия взвешивания, обусловленного продольной силой, действующего в трубопроводе. Однако надёжность трубопровода, утяжелённого пригрузами, невысока; грузы часто сваливаются и всплывают, а также требуют больших капиталовложений, так как расход железобетонных прочих утяжелителей очень велик.

Возможна и наземная укладка трубопроводов на насыпную поверхность земляного полотна в закреплении утяжелителями с последующим его обвалованием. Для повышения надёжности при эксплуатации трубопроводов, применяется крепление труб дисковыми анкерами, вмороженные в грунт. Основными недостатком данного способа является загромождение территории и устройство переездов, а также создаются условия для большей снегוזаносимости территории.

Надземный трубопровод в вечномёрзлом грунте устанавливают и сооружают с помощью опор, расстояние между которыми определяется путем расчета, а при компенсации продольных удлинений трубопровода через определённое расстояние устанавливают компенсаторы, которые могут быть вертикальными или горизонтальными. Этот способ более затратный чем наземный, и имеет значительные теплопотери в отсутствии снегового покрова и продуванию сильными ветрами, что требует дополнительных теплоизоляционных работ.

При минусовой температуре вечномёрзлые грунты обладают большой несущей способностью, можно создать наиболее благоприятные условия режима эксплуатации трубопровода, при котором температурный режим работы стенок трубопровода и продукта будет в отрицательных значениях. Для газопровода эта задача решается просто, на компрессорных станциях

устанавливаются установки по охлаждению газа до температуры  $-2 - 3^{\circ}\text{C}$  следовательно при транспортировке по трубопроводом такого газа удаётся сохранить в летний период грунт в мёрзлом состоянии. Образовавшийся вокруг трубопровода постоянно мёрзлый грунт способствует, повышению продольной устойчивости.

Для нефтепроводов такие минусовые температуры продукта перекачки недопустимы, следствии увеличения его вязкости перекачка по трубопроводу становится невозможна, поэтому для избежания застывания нефти необходимо производить теплоизоляцию трубопровода или с помощью прокладки трубы в трубе, с заполнением межтрубного пространства теплоизоляционными материалами. Но, однако, этот метод требует привлечения дополнительных строительных мощностей и специалистов, но менее затратный перед другими методами.

При надземной прокладке трубопровода диаметром 1000 – 1200мм возникают сложные проблемы с обеспечением устойчивого положения трубопровода на опорах, что экономически приемлемые методы их решения трудно найти. Огромная тяжесть заполненного нефтью трубопровода, а так же необходимость компенсации температурных удлинений, поэтому требуется свайные или иные опорные устройств. Но надёжность работы опорных систем на вечномерзлых грунтах весьма проблематична.



#### 4 «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Рассматривается предполагаемый проблемный прямолинейный участок нефтепровода с длиной 50 метров с многолетнемерзлыми грунтами (ММП). Общая длина по объекту с наличием ММП с льдистыми грунтами составляет 2427м. при оттаивании которых трубопровод может испытывать значительные неравномерные осадки (просадки), что необходимо учитывать при проектировании.

Метод 1. Было принято, по рекомендациям, выполненным институтами ООО НПО «ФундаментСтройАркас», применен способ замены грунта под нижней образующей трубы на глубину 1 м 20 см крупнообломочным непросадочным грунтом и мягким грунтом (песком), который будет являться основанием для трубопровода; в качестве непросадочного грунта используется песчанно-гравийная смесь.

Метод 2. Экспериментальный метод предполагает закрепления грунтового основания трубопровода с помощью криогеля нанесением его к дну траншеи с помощью насосом и последующим перемешиванием мотокультиватором. Не требует дополнительной разработки земли.

##### 4.1. СМЕТНАЯ СТОИМОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

###### 4.1.1. Расчёт стоимости работы, методом замены грунтового основания ПГС

Объем земляных работ при замене основания трубопровода, который составляет 108 м<sup>3</sup> на 50 метров траншеи, работы ведутся с одноковшовым экскаватором ЭО – 4125 мощность 95,6 кВт емкостью ковша 0,8 м<sup>3</sup>, бульдозером Б10М2 мощностью 132 кВт отвал шириной 4,28 метра, Каток самоходный пневмоколесный ДУ-100

Норма накладных расходов составляет 95% (зависит от вида работ, определяется по МДС 81-33.2004), норма прибыли сметной составляет 50% (зависит от вида работ, определяется по МДС 81-25.2001).

Далее стоимость считается по ресурсному методу:

Потребность ресурсов (ГЭСН-81-02-01-2001 Земляные работы) по нормам на 1000 м<sup>3</sup> следующая:

1. Затраты труда рабочих-строителей - 8,3 чел.-ч.

1.1. Средний разряд - 2.

2. Машины и механизмы: 18,05 маш.-ч.

Экскаваторы одноковшовые ЭО –маш.-ч;

Бульдозеры Б10М2 – маш.-ч.

3. Материалы:

48 м<sup>3</sup> ПГС

Сметная стоимость в текущем уровне цен: Стоимость 1 чел.-ч (зависит от среднего разряда работы 2) –154,94 руб. стоимость 1 маш.-ч экскаватора – 6334,67 руб., в т. ч. з/п экскаваторщика 494,98 руб. Стоимость 1 маш.-ч бульдозера – 826,1 руб., в т. ч. з/п бульдозериста 217,31 руб.

стоимость 1 м<sup>3</sup> щебня – 290 руб.

$З_{с}^{туц} = 0,108 \cdot 8,3 \cdot 154,94 = 138,9$  руб.

$Эм_{экскаватора}^{туц} = 0,108 \cdot 18,05 \cdot 6334,67 = 12348,8$  руб.

$Эм_{бульдозер}^{туц} = 0,108 \cdot 18,05 \cdot 826,1 = 1610,39$  руб.

$Эм_{машин}^{туц} = 12348,8 + 1610,39 = 13959,19$  руб.

$Зм_{экскав.}^{туц} = 0,108 \cdot 18,05 \cdot 494,98 = 964,91$  руб.

$Зм_{бульдозер.}^{туц} = 0,108 \cdot 18,05 \cdot 217,31 = 423,62$  руб.

$М_{туц} = 50 \cdot 290 = 14500$  руб.

$ПЗ_{туц} = 138,9 + 12348,8 + 1610,39 + 14500 = 28598,09$  руб.

$95\% \cdot 0,85 = 80,75 = 81\%$

$$НР^{ТУЦ} = 81\% \cdot (138,9 + 964,91 + 423,62) / 100\% = 1237,22 \text{ руб.}$$

$$50\% \cdot 0,8 = 40\%$$

$$П^{ТУЦ}_{СМ} = 40\% \cdot (138,9 + 964,91 + 423,62) / 100\% = 610,97 \text{ руб.}$$

$$С_{смп} = 28598,09 + 1237,22 + 610,97 = 30446,32 \text{ руб.}$$

Расчет ресурсным методом показал, для замены грунтового основания ПГС в объеме 50 м<sup>3</sup> потребуется 30446,32 рублей.

#### 4.1.2. Расчёт стоимости работ, методом закрепления грунтового основания криогелем

Для закрепления грунтового основания для участка нефтепровода с длиной 50 метров, для образования криогеля толщиной 2 мм потребуется 80 литров криогеля. За 1 литр криогелевого раствора составляет 69 рублей.

Для данного экспериментального метода закрепления потребуется бригада из 4 человек как основные рабочие, 1 насос винтовой бочковый ВТ 020 S01 с производительностью 3 м<sup>3</sup>/ч, мотокультиватор для перемешивания грунта Нева МБ-2. Площадь работ составляет 40 м<sup>2</sup>.

Продолжительность работы по закреплению составляет

По нанесению криогеля на основание в объеме криогеля 80 л на 50 метров составляет  $\frac{80}{3} = 0,13$  ч;

По перемешиванию криогеля мотокультиватором площадью работ 40 м<sup>2</sup> с производительностью мотокультиватора 349 м<sup>2</sup>/в час  $\frac{40}{349} = 0,12$  ч;

Общее время работы составляет 0,13+0,12=0,25 час - 15-20 минут. Без учета тех или иных факторов, которые мешают производству работ. Так как, криогель быстро застывает, во взаимодействии с открытой средой, работы должны, проводится быстро.

Затраты на оплату труда основных рабочих стоимость 1 чел.-ч (зависит от среднего разряда работы 2) –154,94 руб. стоимость 1 маш.-ч насоса – 150 руб., стоимость 1 маш.-ч мотокультиватора – 290 руб.

На основных рабочих:

$$0,33 \cdot 154,94 = 51,13 \text{ р} \cdot 4 = 204,52 \text{ рублей}$$

На использование насоса:

$$0,33 \cdot 150 = 49,5 \text{ рублей}$$

На использования мотокультиватора:

$$0,33 \cdot 290 = 95,7 \text{ рублей}$$

Затраты на материалы:

Криогель:

$$80 \cdot 69 = 5520 \text{ рублей}$$

На закрепление грунтов норма накладных расходов составляет 87% (зависит от вида работ, определяется по МДС 81-33.2004), норма прибыли сметной составляет 60% (зависит от вида работ, определяется по МДС 81-25.2001).

$$\text{ПЗ} = 204,52 + 49,5 + 95,7 + 5520 = 5869,72 \text{ руб.}$$

$$87\% \cdot 0,85 = 73,95 = 74\%$$

$$\text{НР} = 74\% \cdot \frac{51,13 \cdot 4}{100} = 151,34 \text{ руб.}$$

$$60\% \cdot 0,8 = 48\%$$

$$\text{Псм} = 48\% \cdot \frac{51,13 \cdot 4}{100} = 98,16 \text{ руб.}$$

$$\text{Ссмп} = 5869,72 + 151,34 + 98,16 = 6119,23 \text{ рублей.}$$

Вывод: Таким образом, на основе анализа сметной стоимости проведенных работ можно сделать вывод о целесообразности применения криогеля для закрепления грунта экономия составило:

$$30446,32 - 6119,23 = 24327,09 \text{ руб.}$$

## 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРИ УКРЕПЛЕНИИ ГРУНТА ОТКОСОВ И ДНИЩ ТРАНШЕЙ ТРУБОПРОВОДА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Социальная ответственность или корпоративная социальная ответственность (как морально-этический принцип) - ответственность перед людьми и данными им обещаниями, когда организация учитывает интересы коллектива и общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на заказчиков, поставщиков, работников, акционеров (ГОСТ Р ИСО 26000-2012).

Рабочим местом является закрепление грунта при строительстве трубопроводов в условиях Крайнего Севера. Работа осуществляется нанесением криогеля на основание а затем перемешивается мотокультиватор. Рабочее место и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы оно экспериментальное и в частности, при организации рабочего места под закрепление грунта должны быть соблюдены все основные условия и требования.

Целью раздела «Социальная ответственность» является анализ вредных и опасных факторов труда работников на объекте закрепления грунтового основания траншеи. В разделе также рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

### 5. 1 Профессиональная и социальная безопасность

Для целостного представления об источниках вредностей и опасностей и всех основных выявленных вредных и опасных факторах на рабочем месте, ниже представлена таблица 2 «Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении работ по укреплению грунта трубопровода в Северных условиях».

Идентификация потенциальных опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) проводится с использованием «Классификации вредных и опасных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003-74 (с измен. № 1, октябрь 1978 г., переиздание 1999 г.). Название вредных и опасных производственных факторов в работе соответствуют приведенной классификации. Определены название характерных видов работ и вредных производственных факторов (ОВПФ).

Таблица 2. - Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении работ по укреплению грунта при строительстве и реконструкции трубопроводов

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ с измен. 1999 г.)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Полевые работы:			СНиП 12-03-2001
1)Нанесение криогеля	1)Пониженные отрицательная температура воздухе; 2)тяжесть и напряженность физического труда;	1)Движущиеся машины и мехаизмы производственного оборудования (в т.ч. грузопъемные);	ГОСТ 12.0.003-74. (с изм. 1999 г.) ГОСТ 12.2.003-91
2)Работа с с мотокультиватор	3) Превышение уровней шума; 4)Повышенные уровни вибрации	2) Электрический ток; 3)вращающиеся части режущего инструмента оборудования; 4) толчковые удары оборудования.	СНиП 12-04-2002 ГОСТ 12.2.003-91

### 5.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Персонал, закрепляющий грунт основание траншей трубопроводов методом нанесения криогеля в грунт подвержены воздействию следующих вредных факторов (табл. 1.1).

#### 1. Превышение уровней шума

Шум - это беспорядочное сочетание звуков различной частоты. Источниками шума на объектах укрепления грунта могут стать машины для проведения земляных работ (буровые установки, экскаваторы, трубоукладчики).

Длительное воздействие шумов отрицательно сказываются на эмоциональном состоянии персонала, а также может привести к снижению слуха.

Действие шума различно: затрудняет разборчивость речи вызывает необратимые изменения в органах слуха человека, повышает утомляемость. Предельно допустимые значения (до 80 децибел), характеризующие шум, регламентируются согласно ГОСТ 12.1.003-83. Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	1,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	07	95	87	82	78	75	73	71	69	80



Основные методы борьбы с шумом на объекте:

- снижение шума бурового инструмента (применение звукоизолирующих средств);

- средства индивидуальной защиты (СИЗ):

- наушники;

- соблюдение режима труда и отдыха;

## 2. Отклонение показателей климата на открытом воздухе.

Климат представляет комплекс физических параметров воздуха, влияющих на тепловое состояние организма. К ним относят температуру, влажность, скорость движения воздуха, интенсивность радиационного излучения солнца, величину атмосферного давления. Максимальная температура в Мирнинском районе Республики Саха (Якутия) составляет в среднем  $+25^{\circ}\text{C}$ , а минимальная температура достигает до  $-56^{\circ}\text{C}$  работать при такой температуре работа запрещена.

Так как рассмотренное выше строительство трубопровода запланированного в осенне-зимний период, возможны обморожения которые представляет собой повреждение какой-либо части тела (вплоть до омертвления) под воздействием низких температур. Чаще всего обморожения возникают в холодное зимнее время при температуре окружающей среды ниже  $-10^{\circ}\text{C}$  -  $-20^{\circ}\text{C}$ . При длительном пребывании вне помещения, особенно при высокой влажности и сильном ветре, обморожение можно получить осенью и весной при температуре воздуха ниже нуля.

К обморожению на морозе приводят тесная и влажная одежда и обувь, физическое переутомление, голод, вынужденное длительное неподвижное и неудобное положение, предшествующая холодовая травма, ослабление организма в результате перенесённых заболеваний, потливость ног, хронические заболевания сосудов нижних конечностей и сердечно-сосудистой системы, тяжёлые механические повреждения с кровопотерей и пр..

Нормирование параметров на открытых площадках производится,

определяются конкретные мероприятия по снижению неблагоприятного воздействия их на организм рабочего. Работающие на открытой территории в зимний и летний периоды года в каждом из климатических регионов должны быть обеспечены спецодеждой:

- костюм от защиты от воды из синтетической ткани с пленочным покрытием;
- комбинезон для защиты от токсичных веществ и пыли из нетканых материалов;
- костюм противоэнцефалитный;
- футболка;
- ботинки кожаные с жестким подноском или сапоги кожаные с жестким подноском;
- сапоги резиновые с жестким подноском или сапоги болотные с жестким подноском;
- нарукавники из полимерных материалов;
- перчатки с полимерным покрытием;
- перчатки резиновые или из полимерных материалов;
- каска защитная;
- подшлемник под каску;
- очки защитные;
- маска или полумаска со сменными фильтрами.

Низкая температура окружающей среды приводит к увеличению механических нагрузок на системы и агрегаты машин и механизмов. В холодный период времени и, особенно в районах Крайнего Севера используется спецтехника конструкция, которой максимально приспособлена к работе в данной климатической зоне. Варианты исполнения предусмотрены действующими нормативами и в частности ГОСТ 15150-69, который также определяет и условия эксплуатации всех видов оборудования и технических средств и изделий.

### 3. Тяжесть и напряженность физического труда.

В связи с большой протяженностью и удаленностью газопровода от населенных пунктов, работникам длительное время приходится проводить в командировках, что сопровождается тяжелым и напряженным физическим трудом.

Тяжелый и напряженный физический труд может повлиять на общее самочувствие рабочего и привести к развитию различных заболеваний.

У людей, занятых тяжелым и напряженным физическим трудом, должен быть восьмичасовой рабочий день с обеденным перерывом (13—14—) и периодическими кратковременными перерывами, а также должна быть увеличена заработная плата и продолжительность отпуска.

### 4. Повышения уровня вибрации

Вибрация — это механические колебания машин и механизмов, которые характеризуются такими параметрами, как частота, амплитуда, колебательная скорость, колебательное ускорение. Вибрацию порождают неуравновешенные силовые воздействия, возникающие при работе машин.

#### Воздействия вибрации на организм человека

Внутренние органы можно рассматривать как колебательные системы с упругими связями. Их собственные частоты лежат в диапазоне 3–6 Гц. Превышения этих уровней вибрации может вызвать травмы, разрыв артерии, а также летальный исход. При воздействии производственных вибраций на человеке вызывает ряд физиологических и эмоциональных изменений состояния человека такие как: повышение утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Ведет это к понижению производительности труда.

Вредность вибрации усугубляется одновременным воздействием на работающих пониженной температуры воздуха рабочей зоны, повышенного уровня шума, охлаждения рук рабочего при работе с ручными машинами, запыленности воздуха, неудобной позы и др.

## Способы защиты от вибрации и профилактика вибрационной болезни

К способам борьбы с вибрацией относятся снижение вибрации в источнике (улучшение конструкции машин, статическая и динамическая балансировка вращающихся частей машин), виброгашение (увеличение эффективной массы путем присоединения машины к фундаменту), виброизоляция (применение виброизоляторов пружинных, гидравлических, пневматических, резиновых и др.) вибродемпфирование (применение материалов с большим внутренним трением), применение индивидуальных средств защиты (виброзащитные обувь, перчатки со специальными упруго-демпфирующими элементами, поглощающими вибрацию).

### 5.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Опасными производственными факторами называются факторы, способные при определенных условиях вызывать острое нарушение здоровья и гибели человека.

#### 1. Электрический ток.

Опасность повреждения работника электрическим током в нефтегазовой отрасли, в частности строительстве и реконструкции трубопровода существует при сварочных работах.

Безопасное напряжение при таких работах составляет 12 В.

Повреждение электрическим током, электрической дугой может произойти по нескольким случаям:

- При прикосновении человеком незащищенных частей токоведущих частей, корпуса различных электрических устройств, оказавшиеся под напряжением в следствии замыкания;
- При однофазном, т.е. однополюсном контакте человека с землей и токоведущей частью (при создании человеком искусственного контакта «токоведущая часть - земля»).

Электрический ток крайне негативно влияет на организм человек, а именно:

- поражает кожные, слизистые покровы человеческого тела;
- поражает центральную нервную систему;
- поражает внутренние органы, оставляет необратимые последствия в работе таких органов как сердце, почки, печень.

Защита от эклектического тока в организациях нефтегазовой промышленности делится на два типа:

Первый тип - коллективная защита:

- применение различных плакатов, знаков безопасности для визуального предупреждения работников об опасности поражения электрическим током;
- изоляция открытых участков токоведущих частей электроустройств;
- установка заземления согласно ГОСТ 12.1.030-81;
- установка ограждения к установкам работающих при помощи электричества.

Второй тип - индивидуальная защита:

- применение работником средств индивидуальной защиты (диэлектрических ботов, перчаток);
- использование различных диэлектрических ковров в работах, связанных с установкой, ремонтом, обслуживанием электроустановок;

Мероприятия по созданию благоприятного условия при работах на электроустановках:

- проведение инструктажей рабочему персоналу;
- проведение аттестации по знаниям безопасности при работах на электроустановках по категориям;
- Соблюдения работниками правил безопасности.

2. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования (в т.ч. грузоподъемные).

Все движущиеся машины и механизмы на производстве нефтегазовой промышленности, могут стать причиной различного рода телесных повреждений работника отрасли. Так как машины, оборудования

представляют собой достаточно небезопасные устройства, в которых участвуют различные подвижные элементы, можно предположить, что повреждения, которые они влекут за собой могут быть достаточно серьезными для человека. При автоматизированном производстве, т.е. без участия человека, возникает риск неожиданных движений оборудования без ведома работника.

Ситуации, связанные с такими несчастными случаями, влекут за собой летальные исходы (смерть), серьезные телесные повреждения (переломы, ушибы), а также материальные убытки (поломка устройств, механизмов, приборов).

Меры по предупреждению таких ситуаций выполняются в виде:

- установок ограждений на периметре работающих установок, оборудования;
- использование работниками средств индивидуальной защиты;
- использование оборудования, находящихся в списке реестра используемых устройств организации.

Данный вид опасных факторов регламентируется и контролируется ГОСТ 12.0.003-74\*.

3. Вращающиеся части режущего инструмента оборудования.

4. Толчковые удары оборудования.

## 5.2 Экологическая безопасность

Данный криогель не токсичен, экологически чистый безвреден для людей, не подвергается к разлаганию и биокоррозии.

Для организации охраны окружающей среды от негативного воздействия проектируемых работ первоочередной задачей является определение конкретных источников негативного воздействия на основные элементы окружающей природной среды рассматриваемой территории - на земельные ресурсы, растительность, атмосферный воздух.

В таблице 4 представлены источники негативного воздействия и природоохранные мероприятия

Таблица 4. - Вредные воздействия на окружающую среду и природоохранные мероприятия при выполнении работ по укреплению грунта

Природные ресурсы и компоненты ОС	Вредные воздействия	Природоохранные мероприятия
Земля и земельные ресурсы	Разрушение грунтов	Рациональное планирование мест и сроков проведения работ. Соблюдения нормативов отвода земель. Рекультивация земель
	Загрязнение почвы химреагентами и др	Предусмотреть сбор отходов, места и условия их временного хранения, вывоз для утилизации, уничтожения, захоронения остатков химреагентов, мусора, загрязненной земли согласно ФЗ от 24.06.1998 (ред. от 29.12.2015)
	Засорение почвы производственными отходами	Вывоз и захоронение производственных отходов согласно ФЗ от 24.06.1998 (ред. от 29.12.2015)
Лес и лесные ресурсы	Уничтожение, повреждение почвенного покрова	Мероприятия по охране почв ГОСТ 17.4.3.04-85

### 5. 3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации на объектах строительства подводного перехода трубопроводов могут возникнуть по разным причинам, некоторые из них:

- ЧС техногенного характера.

Аварии могут привести к необратимым последствиям. Аварии возникают в следствии:

- неправильных действий персонала при строительстве;
- отказ устройств предупреждения опасных ситуаций (приборы контроля, сигнализации);
- разрушение оборудования вследствие старения металла;

- коррозия оборудования;
- ураганы, удары молнией и т.п.

#### 5.4. Законодательное регулирование проектных решений

В соответствии с законодательными с законодательным регулированием РФ, на рабочих участках с вредными и опасными условиями труда, работодатель в свою очередь обязан обеспечить работника средствами, специализированными под данный вид работы, согласно типовым отраслевым нормам (СИЗ, репелленты и т.д.) «Правила обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты». Работники без средств индивидуальной защиты, касок защитных и других необходимых средств защиты к работам не допускаются.

Также работодатель обязан обеспечить коллектив работников при строительстве объекта транспорта углеводородного сырья всеми необходимыми санитарно-бытовыми помещениями (склады для материалов, гардеробы, душевые, сушилки для одежды, помещения для отдыха, приема пищи и проч.) согласно строительным нормам и правилам, коллективному договору, тарифному соглашению.

В документах о решениях по организации прописываются: форма организации труда (бригадный, вахтовый, экспедиционно-вахтовый и т.д.); режим труда; режим отдыха; состав бригад.

При описании режимов труда: указывается продолжительность смены, вахты, количество смен в месяц, трудовой распорядок дня, часы начала рабочего дня, часы окончания рабочего дня, сменные перерывы на отдых, перерывы на прием пищи.

При строительстве переходов в экстремальных погодных условиях (повышенные или пониженные температуры) работодатель должен обеспечить работников дополнительными средствами индивидуальной защиты от холода или жары, дополнительными санитарно-бытовыми помещениями для обогрева, дополнительным временем приема пищи для



восстановления.

Подготовка санитарно-бытовых помещений и устройств должны быть закончены до начала строительных работ, и отвечать всем стандартам сообщества. При реконструкции старых существующих санитарно-бытовых помещений необходимо учитывать новые правила обустройства помещений, особенности местности проведения работ, количество работников в бригаде, оснастить всеми необходимыми средствами для комфортного отдыха. Производственные участки территории, рабочие места должны быть оснащены необходимыми средствами индивидуальной, коллективной защиты, средствами пожаротушения, линиями связи, сигнализациями и другими необходимыми средствами обеспечивающих безопасные и надежные условия труда строительному персоналу в соответствии с нормативными документами. Все объекты санитарно-бытовых, производственных помещений, места отдыха, проходы, рабочие места должны быть расположены на безопасных расстояниях за пределами опасных зон. На действующих опасных зонах при производстве должны быть установлены защитные ограждения, не позволяющие работнику без надобности проникнуть в эту зону. В потенциально опасных зонах устанавливаются сигнальные ограждения, знаки безопасности.

Проезды, переходы на территории производства не должны быть загромождены, замусорены. Рабочие участки должны всегда содержаться в чистоте и порядке, периодически очищаться от мусора, хлама, ненужных для производства объектов.

Находясь на территории производства (санитарно-бытовых помещениях, производственных помещениях участках работ и т.д.), работник, а также представители других организаций обязаны выполнять все требования внутреннего трудового распорядка организации. По всей территории, рабочие места должны быть обеспечены средствами связи.

Все помещениях организации должны быть оборудованы согласно принятым нормативным документам, санитарно-бытовые помещения иметь в

наличии аптечки, носилки, шины и другие средства первой и основной медицинской помощи пострадавшему на объекте строительства трубопровода.

В соответствии с законодательством РФ работодатель обязан должным образом провести расследование в отношении произошедших несчастных случаев на производстве в порядке, установленном Положением, утвержденным постановлением Российской Федерации от 11 марта 1999 г. № 279. По установленным причинам, должны быть проведены и разработаны мероприятия по предупреждению таких ситуаций производственного травматизма, профзаболевании.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы: В зонах распространения вечномёрзлых грунтов сосредоточены более 80 % запасов нефти, и 70 % газа.

Строительство в сложных природно-климатических условиях нарушает естественный температурный режим грунта, что впоследствии приводит процессам осложняющих надёжную эксплуатацию промышленных объектов.

Существующие способы закрепления трубопроводов, трудоёмкие и требуют значительных капиталовложений а также при циклах промерзания-оттаивания материалы разрушаются и практически не применяется.

Рассмотренный криогель, на основе поливинилового спирта обладает хорошей адгезией с грунтом и низким коэффициентом теплопроводности, что является значительным преимуществом перед остальными материалами используемые в низких температурах.

Предварительное построение модели в программном комплексе Ansys показывает улучшения напряженно-деформированного состояния трубопровода, что говорит, о перспективе применения криогеля для закрепления слабых грунтовых оснований которые могут обладать улучшенными механическими свойствами. Стоит заметить что данная модель не даёт полной картины взаимодействия криогеля с грунтом и требует более детального исследования схемы закрепления трубопровода с учетом всех физико-механических свойств грунта.

Анализ сметной стоимости проведения работ по двум методам закрепления грунта показала, экономию с применением криогеля, которая составило:  $30446,32 - 6119,23 = 24327,09$  руб.

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности и практической значимости применения криогеля для закрепления грунта в Северных условиях.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Геосинтетические материалы. Спецвыпуск // <http://www.techinform-press.ru/images/stories/pdf/roads59/59.pdf>
2. Использование криогеля поможет озеленению северных городов // <http://stroy-forum.pro/threads/ispolzovanie-kriogelja-pomozhet-ozeleneniju-severnux-gorodov.1728/>
3. Криогели помогают строить в вечной мерзлоте // Наука и жизнь. – 7 июня 2013.
4. Криотропные полимерные материалы (криогели) // <http://inotomsk.ru/products/kriotropnye-polimernye-materialy-kriogeli-/>
5. Криогели для формирования противофильтрационного слоя и укрепления откосов дорог в северных регионах / Фуфаева М.С., Алтунина Л.К., Манжай В.Н., Овсянникова В.С., Филатов Д.А. // Сборник трудов конференции Института химии нефти Сибирского отделения РАН, г. Томск. – 2016 г. – С. 128 –133.
6. Лозинский В.И. Криогели на основе природных и синтетических полимеров: получение, свойства и области применения // Успехи химии, 2002, т. 71. - С. 559.
7. Строительства магистральных трубопроводов: технологии, организация, управление: справ. Пособие /Ю.Н. Забродин, В.В. Курочкин, В.Д. Шапиро. – М. Изд. «Омега – Л», 2013. – 989 с.
8. Механика мерзлых грунтов и принципы строительства нефтегазовых объектов в условиях Севера: Учебник / Под ред. Н.Н. Карнаухова – М: Изд.ЦентрЛитНефтеГаз. – 2008. – 432 с.
9. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии): Учебник. 3-е изд., стер. / Б.И. Далматов. – СПб.: Изд. «Лань», 2012. – 416 с.
10. Основы геокриологии. Ч.3. Региональная и историческая геокриология Мира / Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 575 с.

11. Природные мерзлые грунты  
[//http://sinref.ru/000\\_uchebniki/01701gornoe\\_delo/001\\_injenernaia\\_geologia\\_anan-ev/029.htm](http://sinref.ru/000_uchebniki/01701gornoe_delo/001_injenernaia_geologia_anan-ev/029.htm)
12. Способы укрепления грунтов, определение и классификация // <https://studfiles.net/preview/3388517/page:10/>
13. Способ укрепления слабых грунтов основания земляного полотна и состав для его осуществления / Алтунина Л.К., Хоменко А.П., Сигачев Н.П., Благоразумов И.В., Конышев С. С. // <http://www.freepatent.ru/patents/2474651>
14. Строительство в условиях вечномёрзлых грунтов // <http://megaobuchalka.ru/10/1486.html>
15. Энциклопедический словарь нанотехнологий / Шляхтин О.А. // <http://enc-dic.com/nanotechnology/Kriogel-188.html>
16. Pajonk G.M., Repellin-Lacroix M., Abouarnadasse S., Chaouki J., Klvana D. From sol-gel to aerogels and cryogels // J. Non-Crystalline Solids - vol. 121, 1990 - pp. 66-67
17. Shlyakhtin O.A. and Young-Jei Oh Inorganic cryogels for energy saving and conversion // J. Electroceramics - 2009, <http://www.springerlink.com/content/b164150861181u47/fulltext.pdf>
18. Y. Nos?, T. Horiuchi, P.S. Malchesky, J.W. Smith, S. Matsubara, and Y. Abe, Therapeutic Apheresis and Dialysis, 2001, 4(1), pp.38-43  
СП 36.13330.2012.
19. СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85\* (с Изменением N 1)
20. СНиП 3.02.01-87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты»
21. СНиП 2.02.04-88 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах»
22. СНиП 22-01-95 «Геофизика опасных природных воздействий»

23. СНиП 23–01–99 «Строительная климатология». Госкомитет РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России), 2000г.

24. СНиП 22-02-2003 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения»

## **Review of the basic methods for growing ground growing strengths**

To increase the bearing capacity and reduce deformations in soil bases there are many ways to artificially fix the soil. Conditionally divide their physical - strengthening of the soil massif with the help of physical lay, mechanical - placing in the thickness of the soil reinforcing elements that have the tensile strength, the chemical - the improvement of soil properties with the help of injection into their thickness of special solutions.

The method of fastening is chosen proceeding from the soil conditions of the construction area, as well as production capabilities for its implementation. The choice of method is worthwhile. Responsibly and take into account all the advantages and disadvantages.

The first group under consideration is the physical methods of fixing soils. In the table. 1 main methods of this group are presented: thermal fixing, freezing, thawing, electro osmosis and lowering the water table. Also shown is a variety of methods, recommended ground conditions, the advantages and disadvantages are indicated.

Thermal fixation of soil - transformation of structural bonds in the ground under the influence of high temperatures. It is carried out either by injecting into the ground under the pressure of air heated to a temperature of 600-800 ° C, or as a result of burning fuel (solar oil, fuel oil, natural gas, etc.) in hermetically sealed wells, drilled for this purpose. After fixing, the strength and water resistance increase soils, as well as their subsidence properties are eliminated.

In accordance with the technology it is necessary to maintain a pressure in the well from 15 to 50 kPa, which is achieved by the supply of incandescent air to enhance the filtration of hot gases in the ground and maintain the required temperature. The diameter of the wells is assumed to be 10-20 cm, while the depth varies from 6 to 15 m and more.

Depending on the loads and their distribution on the construction site, the distance between the axes of the wells is determined. The burning of the soil lasts from 5 to 10 days. Around the well, an array of thermally fixed soil with a

diameter of 1.5-3 m is formed by burning 80-180 kg of liquid fuel per 1 m of the depth of the well.

Table 5 Physical methods of soil reinforcement

Name method	Species	Recommended ground conditions	Advantage/limitations
Thermal fastening	Hot air, burnt fuel	Loess-like, unsaturated clayey soils	Relatively fast set of strength / High price
Freezing	Brine, with nitrogen	Aquiferous soils (from clay to rocky fractured and cavernous)	It is possible to use any aquifer, at any depth. Presence of a well-developed scientific and technical base \ Short duration of conservation effect (only with the action of the freezing plant), natural thawing For a long time, the soil moisture content rises (as water migrates from warm to cooled soil layers)
Thawing	man-made	Soils in frozen soil condition	The possibility of producing works in cramped conditions, near communications, in emergency conditions. Can occur in any direction / Significant labor, energy expenses
	native		The economics of the method / Limitation of percolation, only from top to bottom, control impossible
Electroosmosis		The water-saturated cohesive soils (sandy loam, loams)	The most suitable method for water ground cover / The need for periodic polarity reversal
Lowering groundwater level	Light, ejector, wellpoints	Sandy soils	Dewatering depth of 4.5 to 12 m. Speed of action. Low labor input / Impossibility of work with close lying of waterproof soils and close location of structures
	Vacuum method	Fine-grained soils	Reduction of depth to 22 m. Possible applications in complex hydrogeological conditions / The need for continuous use of energy and drainage of pumped water



To avoid penetration of groundwater or water-saturated unstable soils, the artificial freezing of soils is applied to the construction to be constructed, which creates a strong fence that has a planar or rectangular shape from the frozen ground. For the freezing of soils, a refrigerant or refrigerant is usually used (most often a chilled aqueous solution of calcium chloride - brine). The main function of the brine is the ability to remain liquid at negative temperatures. Brine pre-cooled in a freezing stations, are fed through the pipe system to the freezing columns, which are lowered into the drilled wells. Wells are drilled through the contour of future production through the entire thickness of the aquifers. Their end should be buried 2-5 m into the waterproof soil. The radius of the ice-soil cylinder that is frozen around the well is 1.25-1.5 m, according to the project, based on this data, the distance between the wells is calculated. The cold brine is pumped by pumps into the distributor, from where it disperses uniformly feeding pipes of freezing columns. After the brine has lowered to the bottom of the column, it rises up the annular space between the feed pipe and the freezing column, washing its internal walls. There is a heat exchange, which leads to freezing of the soil (the brine takes away heat from the soil) surrounding the column. Then, from the column through the header, the brine enters the collector, and from it to the freezing station, where it is cooled again. In recent years, a new refrigerant, liquid nitrogen, has been used to artificially freeze soils. It has a very low evaporation temperature. Unlike other industrial refrigerants, liquid nitrogen is used once (the evaporating gas is released into the environment).

Thawing is a method of strengthening soils, in which the phase state of the soil (from frozen to thawed) changes. Natural thawing does not require any technical measures, as opposed to artificial, for which steam, electrodes etc.

Steam heating or water heating is applicable at a depth of freezing up to 1.5 m with needles immersed in the ground and in the presence of a heat source (boiler houses, heating networks). Needles are installed in pre-drilled holes in the ground a distance of 1-1.5 m from each other in a row in the development of a trench and in several parallel rows in a checkerboard pattern for the development of trenches.

Steam needles are immersed to a depth of 0.7-0.75 of the depth of the frozen layer and 20-30 needles are connected to the main pipeline. The essence of the method of steam heating is to give off steam when cooling the latent heat of vaporization. Electro heating of soil with vertical rod electrodes can be done from top to bottom, from bottom to top, and also in a combined way (simultaneously). The electrodes are clogged over the entire thickness of the frozen soil so that 5-10 cm of electrodes enters the unfrozen soil. Full penetration of electrodes is carried out to a depth of 1.3-1.5 m, so vertical electrodes are used with a freezing depth of more than 0.7 m. The distance between the electrodes depends on the voltage: at 220 V take 40-50 cm, at 380 V - 70- 80 cm. Electric current, passing through the thawed ground under a frozen layer (the frozen ground poorly passes current), releases heat, which accumulates and thaws the overlying layers of frozen soil, the process goes from bottom to top.

Electro-osmosis is based on the fact that as a result of the passage through the soil of a constant electric current, as well as the introduction of electrolyte, a number of physicochemical processes leading to drainage and hardening of the soil. In the ground, water moves to the negative electrode (electro-osmosis) and at the same time moves the colloidal suspended in the water particles of the soil to the positive electrode (electrophoresis) under the influence of a direct current.

To dewater the soil in it is immersed electrodes at a distance of 0.6-1.5 m from each other. As positive electrodes, steel rods 150 mm in diameter are used, and as a negative electrode, 100 mm diameter pipes with holes of 3 mm in diameter are used. To enhance the effect of electrochemical fixation in the ground (during processing) a chemical solution (sodium silicate, potassium chloride, etc.) is introduced, which contributes to a faster and better transformation of it. For the work, the injector (perforated pipe) and the transformer are most often used.

The essence of the method of dewatering is based on the fact that the surface of water in the ground becomes funnel-shaped with a slope to the groundwater pumping station, which enter the well. The funnel-shaped (lowered) surface of groundwater is called the depression surface, and the depression funnel is called

the space between this surface and the undamaged surface of the ground flow. Ground, which is below the groundwater table, undergoes the weighing action of water; hence the specific gravity of the soil decreases. In this case, an artificial water loss is used, as a result of which the soil is higher than the groundwater level, the specific gravity of the soil increases, and the base is compacted.

The depression funnel increases as the water is pumped out. There is no development of a depression funnel; stabilization occurs if the pumping intensity remains constant. With the termination of pumping out the level groundwater is restored. The main goal of dewatering is to maintain depressive funnels in a drained state during the entire period of erection of the structure. In some cases, dewatering is used to remove excess head in underlying aquifers, separated from the bottom of the excavation by a layer of waterproof soil.

Dewatering uses several methods: using light and ejector needlepoint's and a vacuum method. The method of water lowering with the help of light well points is based on the creation and maintenance of vacuum by self-priming pumps in a widely branched network of well points that are immersed in the ground and connected by rubber hoses with a collector. Ground water is sucked through the filters into the suction manifold and pumped out of the drainage area by the pumps. The light well point looks like a column of pipes with a diameter of 46-50 mm and a length of up to 8.5 m. At the bottom of the column is a filter link. The filter link consists of two pipes - external and internal. The outer tube has uniformly distributed holes all over the surface and is wound with a spiral, over which a filter net is stretched, and the inner end has an open lower end. The end of the link protrudes the tip with the ball valve. Each needle filter is immersed in the ground by means of a hydrofuge, using the pressure of a water jet. Ejector wellpoints have a special device for lifting water - an ejector (water jet pump). The principle of operation of ejector needle filters is based on the action of a water jet pump: a jet of water raises some of the water that it has captured from the lower level to a higher level.

The essence of the vacuum method is the creation of a stable vacuum on the external surfaces of water intake devices. The use of this method makes it possible to intensify the effect of water loss in the production of work under difficult conditions (the order of waterproof and aquifer layers, in soils with low permeability, in soils of nonuniform addition, etc.).

The second group under consideration is the mechanical methods for fixing the base soils. Methods are considered to be the most popular, since they do not imply a change in the properties of soils under the action of solutions or physical fields, which is quite difficult to control. Mechanical methods presuppose reinforcement of the soil with ready-made elements of various materials that have high tensile strength.

In Table. 2 shows the main methods of this group: compaction of soils, strengthening of geosynthetic and randomly distributed fibers, reinforcement with piles. Also a variety of methods, recommended ground conditions, advantages and disadvantages are indicated.

Soil compaction by the method of loading causes the acceleration of the draft due to load on the ground. The essence of the temporary loading method is the application load, as a result of which the estimated precipitation with a given degree of consolidation is completed in a time much less than the time with conventional consolidation (without precipitation acceleration). The effectiveness of temporary loading directly depends on the time of precipitation acceleration, namely, on the compressibility of the substrate, the magnitude of the load and the degree of consolidation required.

Table 6. Mechanical methods of soil reinforcement

Name method	Species	Recommended ground conditions	Advantage/limitations
Sealing	Ballasting	Sedimentary, swelling, technogenic, strongly compressed organic, loose sandy	Absence of the need for special mechanization, the possibility of accelerating secondary precipitation / The need for additional materials, increasing costs. High labor intensity
	Vibrating	Sandy, sandy-graveled soils	Low noise in operation, simplicity in operation, maneuverability / The ground must have the optimum humidity. The density of soil in depth is uneven
	Tamping		Simplicity of the method, possibility of application In winter conditions / Rapid wear of winch and rope mechanism
	Explosions	Subsidence grounds, sandy loam, loam, loess soils	Ease of production. Opportunity rapid compaction. Low cost / There is a need to provide soil moisture. Uneven compaction over the thickness of the layer. Limited use near buildings and structures
Family geosynthetics	Geotextile, geonet, geogrid, geomatrix	Clay, subsidence, man-made, on territories with complex hydro-geological climatic conditions	Ease of production. Application in cramped conditions. Ecological, low material consumption and cost-effectiveness of the method / Complexity in the gentle handling of certain materials
Accidentally distributed fibers	Natural, artificial, mineral	All soils (except wetlands)	Isotropic increase in the strength of a soil composite without a plane of least resistance. No need for anchoring. Absence of influence of weather conditions. Wide range of materials used / Lack of standards. The complexity of controlling the homogeneity of the mixture
Piles	Bored	In all soils (excluding rocky, coarse, waterlogged, structurally unstable)	Saving materials (made of any length). Ability to produce works near buildings and structures, lack of significant dynamic impacts / Throughout the height of the pile it is impossible to control the monolithicity and density of concrete, it is possible to erode the groundwater of unconquerable concrete

Name method	Species	Recommended ground conditions	Advantage/limitations
	Vibro-tamped	Dry cohesive soils	Manufacturing piles with different bearing capacity / Noise, prohibition of production near existing buildings
	Drill-fastening	In any geological and hydrogeological conditions	Fast and all-season installation. Use on complex terrain and in any ground. Pile production at the plant (reduced cost) / Corrosion, sophisticated quality control welded seams
	Sandy	Water-saturated sands containing organic impurities and loess subsidence grounds	Getting the geomass from the pile and surrounding soil. Economical. A compacted base with an average modulus of deformation is created / The necessity of careful compaction of sand

The vibrocompression method is based on creating a vibration that is transmitted from one particle to the other, thereby driving them. Vibrating action machines frequent vibration movements are reported to the ground, which is why the bonds between particles. Due to different forces of inertia and impulses there is a condensation and mutual movement. The process of vibration also significantly reduces the conditional coefficients forced friction of the soil, which reduces the resistance of the particles to friction. Increase frequency of oscillations increases the efficiency of compaction.

The following method of compaction of soil by mechanical means - tamping or layer seal. Tampers are used for compaction, which are mechanized bath and hand. Mechanized seal with special construction equipment significantly increases the estimated cost of construction, but for large amounts of work the use of only manual mechanisms is impractical. Soil compaction with tramping is carried out until the surface of the soil at each subsequent fall will not fall on the same amount, called "failure." The size of the failure of the approximately equal for dusty-clayey soils is 1-1.5 cm, for sandy soils - 0.5-1 cm. Failure is achieved after 8-12 strokes on one track. The sealing mode of the it is experimental and depends on ground conditions on the construction site.

When applying the method of consolidating subsidence ground underwater and deep-seated explosions, it is necessary to pre-soak in order to bring the soil closer to a state close to the total water saturation. Further (in a groundwater or water environment, respectively) an explosion of explosive charges is made, which contributes to the destruction of the existing soil structure and leads to artificial compaction.

A layer of water below the charge distributes an explosive wave acting on the ground, while a column of water above the charge extinguishes the energy of the explosion, which is directed upwards.

The use of fibrous materials, namely geosynthetics, has now become popular to strengthen soil bases. This is facilitated by their great diversity, simplicity and efficiency of technology. There are several types of geosynthetic materials used to reinforce soil bases: geotextile, geonet, geogrid, geomatrix. Depending on the method of manufacture and, as a result, the final technical characteristics, geotextiles are woven and non-woven. Non-woven geotextile is a flat structure, which consists of synthetic fibers fastened together by a mechanical method. Such material does not decay, roots of plants do not germinate through it, and the structure provides good strength and filtering properties. Nonwovens were historically the first type of geosynthetics that were produced by the textile industry. Until now, these materials continue to be used throughout the world for various geotechnical operations. Separation, reinforcement, filtration, drainage, and also their combination are the main functions of geotextiles. Woven geotextile is a flat and system structure woven from several rows of synthetic tapes that allow us to obtain systemic small-sized weaves. Such material is durable in all directions, frost-resistant. When laying a woven geotextile in an earthen construction it forms a complex structure in which it acts as an armature. The geonet is a mesh flat structure formed by two overlapping rows of fibers 3 to 15 mm thick crosswise at an angle of  $60^\circ$  and  $90^\circ$ , followed by welding at contact points when the polymer is still in semi-liquid state. Geogrids are produced by extrusion from thermoplastic polymers, they are also often used in combination with geotextiles and

geomembranes. The main functions are filtration and drainage. Geogrid is a honeycomb structure made of polyethylene tapes, which are joined together by welded seams, characterized by high strength, and have a staggered layout. They are used primarily for reinforcing soil bases in order to strengthen, taking into account their special structure, when clamped between geogrid cells, the soil cannot move from the existing loads and all tensile stresses are transferred to the geogrid. Geomatrix - a novelty in the domestic market, has not yet received wide popularity in other countries. Structurally, the geomatrixes are a box without a top cover, to the walls of which geotextiles are attached. Crossed, they form rectangular cells inside the box.

Fibroarmorized primer is a mixture of soil with short fibers of different origin (tree roots, polymer fibers, production waste, etc.). Separate short fibers are evenly mixed with the soil to ensure an isotropic increase in the strength of the soil composite without the plane of least resistance. Mixing of fibers with soil can be carried out with the help of familiar equipment (for example, using a rotary mixer).

Strengthening of the ground mass can also be carried out using piles. For this purpose, different types of piles are used. Structures of piles used to strengthen the soil, and technology of their device are constantly being improved. Pile reinforcement is one of the simplest methods from the technological point of view and allows to provide significant material savings in comparison with the complete excavation of weak soils and replacement of them with stronger ones. In general, the technology of strengthening the soil mass of piles consists in the arrangement of wells formed as a result of forced displacement of the soil and filling them with a concrete mixture, coarse clay soil or sand. Depending on the method of construction and design, piles can play a role bearing elements that absorb loads from the structure, or used to compact and improve the building properties of weak water-saturated soils.

Preliminary drilling of wells to a given depth is a characteristic feature of the device of bored piles. A pipe with a diameter of 0.25-0.40 m is lowered into the borehole drilled to the design mark and the concrete mixture is loaded. After the



well is filled to a depth of 1 m, the concrete mix is compacted and the casing slowly lifted up until the mixture height in the pipe decreases to 0.3-0.4 m. Then the concrete mix is again loaded and the process is repeated. Since the diameter of the well is larger than the diameter of the casing, the surface of the drilled soil is uneven, rough. Filling the casing with a concrete mixture, it is raised and compacted; the concrete fills the entire free volume, including the gap between the walls of the well and a casing. The strength of concrete is increased due to the fact that part of the concrete and cement milk penetrates into the ground. To connect the pile to the grillage, reinforce the piles to a depth of 2 m.

Vibro-tamped piles are arranged in dry cohesive soils. The ground is immersed a casing with a shoe, then immerse a portion of the concrete mixture, which is crammed with an ramming bar suspended from the vibrator; when tamping, a broadened heel of the pile is formed, then the subsequent layers are laid and tampered and the casing is removed while the vibrator is operating. In order to connect the pile with the grillage, install the reinforcing cage.

The next method under consideration is the use of screw-drilling piles. The essence of the method lies in the fact that the metal pipe is not clogged into the ground, but is screwed. The tube is factory-screwed by a narrow auger made of reinforcement with a diameter of 10-16 mm with a pitch of 200-500 mm. The pipe can be equipped with a cap with rippers, deaf or loose, allowing, if necessary, to prevent water from entering the pipe body, all these equipments depend on ground conditions. Surrounding ground when screwing the pipe is partially compacted, even some of it is squeezed out. If the pipe in the lower part is deaf, then after screwing up to the design mark, an reinforcement frame is inserted into it and it is filled with a concrete mixture. During the pipe is unscrewed, the shoe remains on the ground, on which the reinforced concrete bored pile rests.

The sand pile perceives the load together with the surrounding compacted soil, since the device compressibility of the pile slightly differs from the compressibility of the compacted surrounding soil. Such piles work as drains, diverting pore water from water saturated soils to the surface, this is their feature.

The technology of sand piling consists in the following: an inventory metal pipe with a diameter  $d = 0.325 \dots 1.5$  m, which is equipped with a drop-off tip, is immersed in a weak ground with the help of vibrating hammers or vibration loaders.

During the immersion of the pipe, the soil around the cavity formed is compacted, further, sand of coarse fraction is poured into the pipe in portions and the pipe is gradually removed (with the opening of the tip) from the ground to the full filling of the pile shaft.

In terms of the sand piles are placed in a staggered manner, it is important condition: the density of the soil in interswith space should reach the design value in the entire compacted massif. Thickness from half a meter to a meter over sandy piles is arranged a compacted sand cushion. Its main purpose is to distribute the pressure uniformly from the erected structure to the compacted massif, as well as to accelerate the filtration and extraction of the ground water discharged from the massif beyond the limits construction sites.

The third group under consideration is the chemical methods of fixing soils, which are quite popular in our time. All chemical processes occur due to the chemical interaction of reagents introduced into the soil, among themselves, as well as with mineral particles. The economic feasibility of methods is ambiguous and requires careful analysis in each case: on the one hand, rather cheap solutions, on the other - expensive equipment.

In Table. 7 show the main methods of this group: silicification, resinization, the use of enzymes, jet cementation and bitumenization. Also a variety of methods, recommended ground conditions, advantages and disadvantages are indicated.

The technology of chemical fastening consists of two main stages. On the first an aqueous solution of the adhesive is injected (in most cases, sodium silicate) or resin. The injection takes place under pressure through specialized devices (injectors) or wells. The second stage involves the solidification of the solution. The primer and the adhesive form an array with improved characteristics (solid,

homogeneous). As gluing, various substances are used, on which the name of the method depends: the resinization or silicization.

Table 7. Chemical methods of soil reinforcement

Name method	Species	Recommended ground conditions	Advantage/limitations
Silicization	One-solution	Sands, silty sands (quicksands), loess, subsidence grounds	Reliability, durability, economy. Absence of corrosive media / Limitation in soil moisture
	Two-solution		Time-saving, high strength, more homogeneous array (compared to a single-solution) / Limitation in soil moisture
	gas		Strengthening in a short time / Increased economic costs
Smolization	Single-solution, two-solution	Sandy (medium, small, silty), loess soils	High strength, fast strength. Stability of the soil to the action of corrosive media / Emission of toxic formaldehyde with urea resins
The use of enzymes	—	Clay soils	Cost savings during the construction and operation phases / Lack of standards, little study of the method
Jet-grouting	One-component, two-component, three-component	Gravelly, coarse and medium-grained sands, clays	High speed, the ability to work in crowded conditions, flexibility, maneuverability / Costly equipment
Bituminization	Hot	Rock fractured rocks	Possibility to use soils with any aggressive waters, for high water flow rates / Complex technical equipment, increased safety measures
	Cold	Rock fractured rocks, sands	Fuel economy, labor, bitumen / Strong fluidity of bitumen (the possibility of breaking through the bitumen curtain under high groundwater pressure)

The technology of chemical fastening consists of two main stages. On the first an aqueous solution of the adhesive is injected (in most cases, sodium silicate) or resin. The injection takes place under pressure through specialized devices (injectors) or wells. The second stage involves the solidification of the solution. The primer and the adhesive form an array with improved characteristics (solid, homogeneous). As gluing, various substances are used, on which the name of the method depends: the resinization or silicization. Bonding of soils can be carried out

by different methods: successively, the glue (resin or water glass) is pumped in, then the hardener, and at the same time - the glue and the hardener mixed into the ground before the process starts.

Strengthening of soils by silicization is quite common in Russia. The essence of the silicization method is the injection of a solution of liquid glass into the ground, resulting in a chemical reaction and a gel of silicic acid, which, in turn, binds soil particles like cement. The strongest fastening is achieved with a sequential feed of the components. In the ground there is a natural hardener; when a liquid glass is supplied, which has a large penetrating power, a setting process takes place between them. When the components are fed in succession, considerable time savings are achieved nor, as well as the simplification of the solution supply technology, since the supply pressure is much lower. When the main component of the glue and the hardener are simultaneously fed, it is necessary to increase the speed of the solution supply to the injector, and also to increase the pressure so that the composite reaches a given depth of injection, because when the components are joined, the process of setting the components of the adhesive begins, hence the viscosity of the solution increases and its fluidity decreases. The field of application of silicification and resinization is quite extensive: for example, in the preparation of soil bases for complex buildings and structures, as well as for strengthening soils under existing buildings and structures.

Gas silicization is used for heavily humid soils. As hardener uses carbon dioxide CO<sub>2</sub>. There are several varieties of this method - without preliminary and preliminary treatment of the soil with carbon dioxide. Gas solicitation makes it possible to fix soils, the degree of humidity of which is different ( $k_f = 0,1 \dots 0,2 \text{ m / day}$ ).

The method of strengthening soils with the help of enzymes is used to strengthen soils under linear construction objects (roads, railways, pipelines, etc.). Enzymes can be attributed to high-molecular proteins. In the polymer structure of

enzymes, there are cavities that include hydrophobic and hydrophilic radicals and moieties.

The surface tension of water decreases if the enzyme is dissolved in it, since the enzymes have the properties of surfactants and act as hydrophobisers. As a result, the molecular and electrostatic interaction between the soil particles is enhanced. A denser soil is created, as the water structure changes, which contributes to its intensive removal. Due to the special structure of the enzymes, when they settle on particles of the soil, strong hydrogen bonds are formed. An aqueous solution with enzymes is made from the calculation of 2 ml per 1 liter of water.

Currently, there is more information about the application of the Jet-grouting method. The essence of technology is the simultaneous destruction of soil and its mixing with cement mortar entering the ground under high pressure. As a result, after the cement slurry solidifies, a new material is formed - ground-concrete, which has qualitative characteristics (strength and deformation properties). The device of soil-cement piles is made in two stages - during the direct and reverse stroke of the drill string. During the direct stroke, the leader well drilled to the design mark. In the process of return the cement high pressure solution into the nozzle of the monitor located at the lower end of the drill string and lift the column while rotating it. There are three types of technology:

1. One-component technology. The ground is destroyed by a stream of cement spreading under pressure of 400-500 atm. This technology requires a minimum set of equipment and is considered to be an order of magnitude simpler, but the diameter of the resulting piles is also the smallest (600 mm for clays and 700-800 for sandy soils) compared to other technology options.

2. Two-component technology. In order to increase the length of the water in this embodiment, the energy of the compressed air is used. In order to avoid mixing of compressed air and cement mixture, special double hollow rods are used (cement mortar is fed through the outer cavity, and compressed air is supplied

through the internal cavity). The diameter of the piles in clays is about 1200 mm, and in the sands - 1500 mm.

3. Three-component technology consists of two stages. At the first stage, the ground is washed out with a water jet to form cavities. The second stage involves filling the cavities with a cement-sand mortar. The main advantage of this option is the production of columns of pure cement mortar. The drawbacks include the complexity of the scheme, the need for triple rods, as well as additional technological equipment. As a result, piles with a diameter of 2500 mm are possible.

The technological equipment required for this method consists of micro a sulfur station, a cementing pump for high pressure, a silo for cement storage and a drilling rig. For technology 2, an additional compressor is required, and for technology 3 - a compressor and a second pump for the injection of cement.

The method of bituminization differs from cementation in that liquid bitumen (hot or cold) is pumped into the ground. To inject hot bitumen into the ground, drill holes 80-100 mm in diameter along the contour of the excavation at a distance of 0.7-1.0 m from one another. Each well must be dug to waterproofing or to a depth exceeding the foundation of the excavation by 60-100 cm, and then clean and rinse it. An injection pipe ( $d = 40$  mm) with perforated holes ( $d = 15$  mm), through which the bitumen penetrates into the well, is lowered into the borehole. In the well below the zone to be bituminized, a plug (tampon) made of cement or wood is arranged. Fill the rock cracks with hot bitumen (at a temperature of  $200-220^{\circ}\text{C}$ ) under pressure up to 8 atm. To ensure that the bitumen temperature does not decrease in the boreholes (the required temperature is  $180-220^{\circ}\text{C}$ ) and it does not change its aggregate state, a metal rod connected to a network of direct electric current is fixed in the injector on special porcelain insulators.

In most cases, hot bituminization is combined with cold bitumen, since hot bitumen can not penetrate into small cracks (less than 1 mm). Cold bitumenization is considered the more successful the smaller bitumen particles in the emulsion.

The essence of the method of cold bitumenization is that fine bitumen emulsions are injected into the soil through the wells. This method is used to compact both rocky rocks and sandy soils. The concentration of the emulsion depends on the sand fraction. The composition of the bitumen emulsion includes electrolytes, which cause the coagulation process, and give the soil water resistance, filling the pores and cracks.

The authors proposed a classification of the main methods of strengthening the soil base, which divides them into three large groups: physical, mechanical and chemical. Also, for each group, tables are given (see Tables 1-3), which reflect popular varieties of methods, recommended soil conditions, and

Advantages and disadvantages using the classification and tables (see Tables 1-3), it is possible to simplify the choice of a suitable method for fixing the base soils in each specific case.

Strengthening the foundation soils is a broad topic. It is impossible to cover every aspect of it, since it is a rapidly developing direction, which is constantly being improved. On the one hand, this is problematic, but on the other hand it provides opportunities for innovation.

In each case, the choice of a method is individual. It is necessary to analyze it from different angles - whether it is a field of application, economic components or advantages and disadvantages. In addition, different methods can be combined to cope with a wide range of situations.